

CLINICAL ARTICLE

Kor J Spine 5(3):167-172, 2008

척추 후만성형술에서 Polymethylmethacrylate와 Calcium Phosphate 골양시멘트질 주입에 대한 임상적인 평가

연세대학교 의과대학 신경외과학교실

백인현 · 하 윤 · 안풍기 · 이 성 · 신현철 · 윤도흠 · 김공년

The Clinical Evaluation of Calcium Phosphate Cement Compared with Polymethylmethacrylate for Kyphoplasty

In Hyun Baek, M.D., Yoon Ha, M.D., Poong Gee Ahn, M.D., Seong Yi, M.D., Hyun Cheol Shin, M.D., Do Heum Yoon, M.D., Keung Nyun Kim, M.D.

Department of Neurosurgery, Spine and Spinal Cord Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Objective: We investigated the clinical outcome of kyphoplasty using calcium phosphate (CaP) for vertebral augmentation compared with polymethylmethacrylate (PMMA). We conducted a retrospective study to determine whether patients with osteoporotic vertebral fracture who underwent CaP kyphoplasty had improved outcome in the correction of vertebral body and relief of pain compared with those who underwent PMMA treatment.

Methods: From January 2005 to December 2006, 117 consecutive patients with osteoporotic compression fracture were treated at our institute. Among them, 23 patients have treated to kyphoplasty using PMMA or CaP. We reviewed the clinical data and imaging studies retrospectively as sources for analysis.

Results: The 23 patients included in the study. A mean ages of CaP and PMMA group were 70 ± 9.5 and 67 ± 9.5 years respectively. Preoperative compression ratios (CR) were 0.71 ± 0.12 and 0.74 ± 0.15 on both groups. Postoperative CR, however, showed the difference between two groups. The differences of preoperative and postoperative Cobb's angle were 10.04 and 2.18 on CaP and PMMA group respectively and the mean injected volume of cement were 3.85 ± 1.73 and 4.4 ± 1.23 ml.

Conclusion: The amount of injected volume of bone cement in kyphoplasty has no difference on both groups. But, follow-up compression ratio and Cobb's angle are larger in CaP group than PMMA group. However, pain and functional recovery is not different on both group. As a result, CaP can not sufficiently support the strength of vertebral body, but be used to control the acute pain.

Key Words: Kyphoplasty • Polymethyl Methacrylate • Calcium Phosphate • Bone Cement

서 론

현대에 척추체 압박골절은 노인에게 증가하고 있는 흔한 질환이며^{12,18)}, 급성 또는 만성통증을 유발하고 척추변성을 유발하는 중요한 원인이다¹⁷⁾. 따라서, 척추체 압박골절에 의한 통증완화 및 척추변성을 방지하기 위한 치료에 대하여 지속적인 임상적인 연구 및 발전이 이루어 지고 있다.

여러 임상 연구에서 polymethylmethacrylate (PMMA)를 이용한 경피적 척추성형술이 척추체 압박골절로 발생하는 급성통증을 완화시키며, 통증에 의한 기능적 손상에서 회복하는데 효과적인 것으로 알려져 있다^{4,9,13,16,19)}. 하지만 경피적 척추성형술을 위한 재료로 널리 쓰이는 PMMA가 있지만, 여러 문제점; 중합체가 되기 이전에 독성, 중합체가 되는 과정에서 발생하는 고열 및 그로 인한 인접 조직에 손상, 마지막으로 척추성형술 중에 혈관으로 침투하여 심근경

• Received: July 25, 2008 • Accepted: September 3, 2008 • Published: September 30, 2008

Corresponding Author: Keung Nyun Kim, M.D.

Address of reprints: Department of Neurosurgery, Yonsei University College of Medicine, 134 Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul, 120-752, Korea
Tel: +82-2-2228-2150, Fax: 82-2-393-9979, E-mail: knkim@yuhs.ac

색 및 폐색전증을 유발하거나, 신경관으로 흘러 들어가 신경을 손상시킬 수 있는 위험성이 제기되고 있다^{2,5,6}.

골양시멘트(bone cement)로써 위와 같은 PMMA의 문제들을 극복하기 위하여 다른 재료가 연구되고 임상적으로 사용되고 있는데, 대표적인 예로 calcium phosphate (CaP)가 있다. CaP은 생체흡수(reabsorbability)가 가능하며, 골전도율(osteoconductivity)이 PMMA보다 좋아서 생체순응도(biocompatibility)가 높은 특징이 있다^{8,12,14,18}.

현재, 임상에서 척추체 강화를 위하여 CaP를 사용하고 있으나, PMMA와 비교한 임상적인 유용성에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 PMMA와 CaP를 사용한 환자군 사이의 방사선학적 및 임상적인 차이를 비교 분석하여 CaP가 척추체 강화를 위한 골양시멘트질로써의 유용성에 대해 알아보려고 한다.

대상 및 방법

1. 대 상

2005년 1월부터 2006년 12월까지 본원에서 척추체 압박골절로 입원한 117명의 환자를 대상으로 골다공증으로 인한 압박골절로 치료를 받은 환자를 대상으로 하였다. 단순방사선 소견, 자기공명영상, 골밀도 검사에서 병적인 척추체 압박골절을 보이지 않으며, 골다공증에 의한 압박골절로 확인이 된 후, 2주 동안 보존적 치료에 불구하고, 지속적인 통증이 있는 환자를 대상으로 CaP와 PMMA를 이용한 척추 후만성형술을 시행한 환자를 본 연구에 포함시켰다. 본 연구에서 척추체의 후주(posterior column)가 골절된 환자는 배제하였다. 상기 기준으로 척추 후만성형술을 통한 CaP가 주입된 9명의 환자와 PMMA가 주입된 14명이 본 연구에서 선택되었다.

2. 방 법

본 연구에서 임상적인 지표를 확인하기 위하여 모든 환자에게서 수술 전 1일, 수술 후 1일, 수술 후 1년을 시점으로 통증에 대한 지표로는 Visual analog score (VAS) 점수를 측정하였고⁷, 사회·기능적 측면의 회복에 대한 지표로는 Prolo 점수를 측정하였다¹⁵.

3. 방사선학적 평가

모든 환자에게서 수술 전에 병변 부위에 대한 단순방사선촬영, 자기공명영상 및 골밀도 검사를 시행하였다. 그리고, 수술 후 1일과 1년을 기간으로 하여 단순방사선촬영을 재시행하였다. 수술 전과 수술 후의 방사선학적 차이를 비교 분석하기 위하여 척추체의 전주(anterior column)와 후주(posterior column)에서 종판(endplate) 사이의 높이를 측정하

고 압박율(compression ratio; 전주에서 종판 사이의 높이/후주에서 종판 사이의 높이)을 측정하였다.

또한 양 군간의 시술 전과 후의 후만각 변화를 보기 위하여 척추골절이 된 병변보다 한 척추체 위의 상부종판과 한 척추체 아래의 하부종판 사이의 각도(Cobb's angle)를 측정하였다.

Fig. 1A와 1B는 CaP를 주입한 군의 수술 전과 수술 후 1년의 단순방사선촬영이며, Fig. 2A와 2B는 PMMA를 주입한 군의 영상이다.

4. 척추 후만성형술의 방법

환자를 시술대에 눕힌 후 방사선 투시하에 시술부위를 2% 리도카인으로 국소마취 하였다.

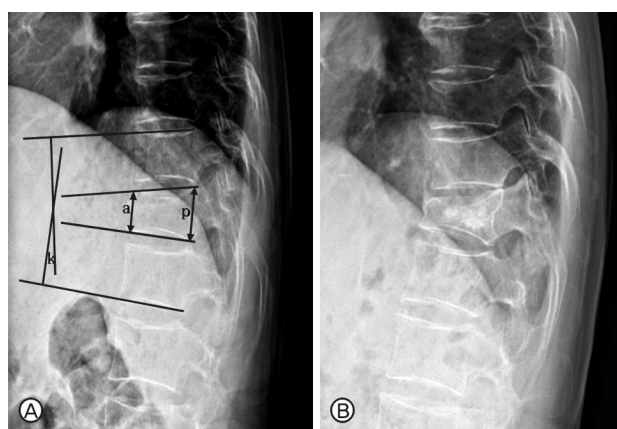


Fig. 1. A. Preoperative X-ray shows the compression fracture of vertebral body. k: kyphotic angle by Cobb's method, a: height of anterior column, p: height of posterior column. B. Postoperative X-ray injected in CaP shows more compressed vertebral body than preoperative.



Fig. 2. A. Preoperative X-ray shows the compression fracture of vertebral body. B. After injection of PMMA, postoperative 1 year X-ray does not show the difference of height with preoperative X-ray.

병변 부위로부터 양측성 경척추경 접근법으로 시행되었고, 고식적인 척추 후만성형술을 통하여 CaP와 PMMA를 각각 주입한 후 양측에 주입한 양을 기록하여 합산하였다.

5. 통계 분석

CaP를 주입한 군과 PMMA를 주입한 군의 통계적인 유의성을 비교하기 위하여 스튜던트 T-검정(Student T test)을 시행하였으며 통계적인 유의성은 $p < 0.05$ 를 의미 있는 것으로 하였다.

결 과

전체 23명의 환자 중에 9명의 환자에게 척추 후만성형술을 통한 CaP가 주입되었고, 흉추는 6, 요추는 4 척추체였다. 반면에 PMMA를 주입한 군은 14명의 환자가 16개의 척추체에 대하여 치료를 받았으며, 흉추 6, 요추 10 척추체였다. 각 군의 평균 나이는 70 ± 9.5 와 67 ± 9.5 세로 통계적 차이는 없었고, 수술 전에 시행한 골밀도(g/cm^2)는 0.719와 0.696로 통계적 차이를 보이지 않았다(Table 1).

Table 1. Demography

Variable	Group	
	CaP*	PMMA*
No. of Patient (level)	9(10)	14(16)
Age (yrs)	70 ± 9.5	67 ± 9.5
Level		
Thoracic	6	6
Lumbar	4	10
BMD* (g/cm^2)	0.719 ± 0.132	0.696 ± 0.075

*CaP=calcium phosphate, PMMA= polymethylmethacrylate, †BMD=Bone marrow density

1. 척추체 높이 및 후만각

수술 전 척추체 전주 높이, 후주 높이 및 압박율은 두 군간에 유의한 차이를 보이지 않았다($p=0.578$). 수술 1년 후 척추체 전주 높이는 CaP를 주입한 군에서 16.4mm로 PMMA로 시행 받은군의 19.8mm에 비교하여 낮았으나 통계학적인 유의성은 없었다($p=0.089$). 압박율의 경우에 CaP군은 수술 전에는 0.71이었고, PMMA군은 0.74이었으며, 수술 1년 후에는 각각 0.57 및 0.73으로 변화되어 통계적인 차이를 보였다($p=0.009$). 양 군에서 수술 전 압박율로부터 수술 1년 후의 압박율을 뺀값은 CaP군에서 0.14 였고, PMMA군에서는 0.01로 각 군간에 통계적 유의성을 보이는 차이가 있었다($p=0.011$) (Table 2).

후만각의 비교는 Table 3에서 볼 수 있는데, CaP군은 수술 전에는 14.24도, 수술 후 1년에는 24.27도 였으며, PMMA군에서는 각각 11.50도 및 13.68도 이었다. 각 군의 수술 전 후만각 사이에 통계적 차이는 보이지 않았으나, 수술 후에는 CaP군에서 후만각이 통계적으로 의미 있게 큰 값을 보였다($p=0.036$). 두 군간에 수술 전, 후의 후만각 차이를 보면 CaP군에서 10.04도의 차이를 보인 반면에 PMMA군에서는 2.18도의 차이를 보이며, CaP군에서 수술 전, 후로 후만각의 변화가 큰 것을 볼 수 있다($p=0.046$).

2. 척추 후만성형술에서 주입된 골양시멘트질의 양

Table 4는 척추후만성형술에 주입된 골양시멘트질의 양을 보여주고 있다. CaP군에서는 평균 3.85 ml가 주입되었고, PMMA군에서는 4.40 ml가 주입되었으나, 양 군간에 통계학적인 차이를 보이지 않았다($p=0.418$).

Table 2. Comparison of radiologic findings between CaP and PMMA

Group	CaP*	PMMA*	p value
Preoperative			
anterior height†	20.07 ± 3.63	20.24 ± 5.95	0.930
posterior height†	28.80 ± 4.21	27.05 ± 5.30	0.381
CR (pre)‡	0.71 ± 0.12	0.74 ± 0.15	0.578
Postoperative			
anterior height	16.37 ± 3.92	19.84 ± 5.64	0.089
posterior height	29.08 ± 4.22	26.96 ± 5.41	0.298
CR (post)‡	0.57 ± 0.14	0.73 ± 0.12	0.009
CR (pre)-CR (post)	0.14 ± 0.11	0.01 ± 0.10	0.011

*CaP=calcium phosphate; PMMA = polymethylmethacrylate.

† anterior height=a distance between upper endplate and lower endplate of anterior column; posterior height=a distance between upper endplate and lower endplate of posterior column.

‡ CR=compression ratio (height of anterior column/height of posterior column); CR (pre)=preoperative CR, CR (post)=postoperative CR.

Table 3. Comparison of Cobb's angle between CaP and PMMA

Group	CaP*	PMMA*	p value
Cobb's angle [†] (pre)	14.23±10.26	24.27±13.07	0.468
Cobb's angle (post)	11.50±6.57	13.68±7.80	0.038
Cobb's angle (pre-post)	10.04±10.73	2.18±1.89	0.046

*CaP=calcium phosphate; PMMA=polymethylmethacrylate.

[†] Cobb's angle(°)=the angle between superior endplate of one level above and inferior endplate of one level below

Table 4. Comparison of injected volume between CaP and PMMA

Group	CaP*	PMMA*	p value
Injected volume (ml)	3.85±1.73	4.4±1.23	0.418

*CaP=calcium phosphate; PMMA=polymethylmethacrylate.

Table 5. Comparison of VAS score and Prolo score between CaP and PMMA

Group	CaP*	PMMA*	p value
VAS score [†]			
Preoperative 1day	8.70±0.78	8.19±0.63	0.115
Postoperative 1day	4.30±1.01	4.44±1.00	0.749
Postoperative 1yr	2.70±1.01	2.63±1.22	0.870
Prolo score [‡]			
Preoperative 1day	3.00±0.63	3.19±0.81	0.534
Postoperative 1day	4.80±1.08	5.44±1.00	0.167
Postoperative 1yr	7.50±1.20	7.25±1.30	0.638

*CaP=calcium phosphate; PMMA=polymethylmethacrylate.

[†] VAS score=visual analog scale, from 1 to 10

[‡] Prolo score, economic status: 1=complete invalid, 2=no gainful occupation including ability to do homework or retirement activities, 3=ability to work but not at previous occupation, 4=working a previous occupation part time or with limited status, 5=able to work at previous occupation without restrictions; functional status: 1=total incapacity, 2=mild to moderate level of low-back pain and/or sciatica, 3=low level of pain and able to perform of all activities except sports, 4=no pain, but one or more recurrences of low-pack pain, or sciatica, 5=complete recovery, no episodes of recurrent low back pain, and able to perform all previous sports activities

3. 수술 전과 후의 임상지표의 변화

CaP군은 VAS점수가 수술 전에 8.70, 수술 1일 후에 4.30으로 감소하였고, 수술 1년 후에는 2.70로 감소하였으며, PMMA군에서 각각 8.19, 4.44, 2.63으로 감소하였고, 양군간에 통계학적 차이를 보이지는 않았다($p=0.749$, 0.087). Prolo 점수에서도 통계적인 유의성이 있는 차이를 보이지 않았다(Table 5).

고 찰

노인인구의 증가와 함께 골다공증으로 인한 척추체 압박 골절은 증가하고 있으며, 급성 및 만성 통증과 척추변성으로 거동하지 못하거나, 기능손상으로 후유 장애가 발생하

고 심한 경우에는 사망에 이를 수 있다^{12,17,18}).

Gilbert 등³⁾에 의하여 1984년 척추성형술이 소개된 이후 골다공증으로 인한 척추체 압박 골절의 치료로 척추체 내로 PMMA의 주입이 널리 사용되고 있다¹⁰⁾. 하지만 PMMA는 점성이 낮아 척추체로 주입된 후 흘러나오기도 하며, 중합체로 되는 과정에서 발열반응으로 유발된 열에 의한 인접 구조물이 손상될 수 있고, 생체순응도가 없어 정상적인 골전도율을 방해한다고 알려져 있다^{2,5,6)}.

PMMA의 이러한 잠재적 합병증을 극복하기 위하여 CaP가 소개되었다^{1,8,14)}. CaP는 생체순응도가 높아서 생체 흡수율이 높고 골전도율이 높으며, 점성이 PMMA보다 커서 인접 구조로 흘러 들어가지 않는 장점이 있어 PMMA를 대체할 수 있는 골양시멘트질로 주목 받아왔다. 또한 생체 물리학 연구는 PMMA와 CaP가 큰 차이를 보이지 않는 척

추체 강화 효과에 대하여 보고하고 있다^{12,14,18}).

Wike 등과 Lim 등은 시체로부터 적출한 척추체에 CaP와 PMMA를 주입한 후 지속적인 압박을 가하였을 때, 두 군간에 척추체의 높이 변화에 큰 차이가 없다고 보고하고 있다^{12,18}). 그러나 본 연구에 의하면 CaP를 주입한 군과 PMMA를 주입한 군을 비교하였을 때, CaP군에서 시술 전, 후의 압박을 차이가 0.14로 PMMA의 0.01과 비교하여 CaP군에서 압박을 차이가 큰 것을 볼 수 있다. 시체로부터 적출한 척추체의 연구와 다르게 본 연구에서 CaP 주입군의 압박을 변화가 큰 이유는 CaP의 생흡수성에 의한 것으로 생각해볼 수 있다. PMMA는 생체 내에서 3개월 이내에 약 30% 골전도율을 보이지만, CaP는 80%의 골전도율을 보인다¹¹). 시체를 통한 생체물리학적 연구에서 주입된 CaP는 생흡수가 되지 않기 때문에 지속적인 압박에도 불구하고, CaP의 척추체 강화 효과가 유지될 수 있어 PMMA와 비교 실험에서 큰 압박율의 차이를 보이지는 않지만, 생체내에서는 CaP가 PMMA보다 생흡수성이 크고 골전도율이 높기 때문에 척추체 강화 효과가 PMMA과 비교하였을 때, 작다고 생각할 수 있다.

척추체 압박율이 CaP를 주입한 군에서 크다는 것은 시술 후에 척추체의 후만변성을 유발할 수 있을 것으로 보인다. 척추체 후만변성을 확인하기 위하여 측정한 후만각에서 CaP군에서는 시술 전, 후의 후만각 차이가 10.04도였지만, PMMA를 주입한 군에서 후만각의 차이가 2.18도이고, 양 군간에 수술 전후로 후만각의 차이에 통계적인 유의성을 보이고 있다.

임상에서 CaP의 높은 점성에 의하여 주입량이 적을 것으로 보고 있다. Lim 등은 척추 후만성형술을 통한 시체연구에서 주입량의 차이가 없음을 보고하고 있으며¹²), 본 연구에서도 CaP의 주입량이 PMMA과 비교하여 적었으나, 통계적인 차이를 보이지는 않았다. 따라서 CaP는 PMMA과 비교하여 척추체 강화효과가 떨어지며, 이 때문에 압박율과 후만변성이 크다고 생각할 수 있으며, 척추체 강화 효과가 떨어지는 이유는 시술 중 주입량이 적어서라기 보다는 CaP의 주입 후 높은 생흡수성 및 골전도율에 의한 것으로 생각할 수 있다.

압박골절에서 척추성형술 또는 척추 후만성형술의 가장 큰 목적 중에 하나는 압박골절에 의한 통증을 완화시키는 데 있다. Nakano 등은 보존적인 치료를 받은 환자와 비교하였을 때, CaP를 이용한 척추성형술을 시행한 환자에서 통증완화가 효과적이라고 보고하였다¹⁴). 본 연구에서 PMMA군과 비교하여 시술 1일 및 1년에 통증완화에 큰 차이가 없으며, 또한 기능적인 회복에서도 큰 차이가 없다는 것을 볼 수 있다. 따라서 압박골절의 치료에서 통증을 조절하는데에는 CaP가 효과적일 수 있다는 것을 볼 수 있다.

본 연구는 환자군이 23명으로 작아 CaP와 PMMA의 주

입으로 흉추와 요추에서 보이는 방사선학적인 차이를 나누어서 분석하지 못하였고, 흉추와 요추의 서로 상이한 생체물리학적 특징을 반영하지 못하였으며, 추적 관찰기간이 1년으로 방사선학적 변화와 임상 변화를 확인하기에는 비교적 짧은 제약이 있다.

본 연구에서 CaP를 주입한 척추 후만성형술은 PMMA를 주입한 척추 후만성형술과 비교하였을 때, CaP의 장점이 있다고 생각되는 높은 생흡수성 및 골전도율이 오히려 생체 내에서는 장기적으로 보았을 때, 척추체 강화 효과에 부정적인 효과를 보이며, 후만증이 발생할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 이러한 해부학적인 변화가 환자의 통증 완화 및 기능 회복에 있어서 PMMA와는 큰 차이를 보이지 않기 때문에 통증완화를 위한 목적으로 CaP를 주입하는 것은 의미가 있겠다.

결론

척추후만성형술에서 CaP의 주입량은 PMMA의 경우와 큰 차이가 없으나, 압박율이 크고 후만변성을 유발할 수 있다. 이러한 방사선학적 차이가 있음에도 통증완화와 기능 회복에는 큰 차이가 없다. 따라서 통증완화를 위하여 CaP를 사용할 수 있다.

REFERENCES

1. Bai B, Jazrawi LM, Kummer FJ, Spivak JM: The use of an injectable, biodegradable calcium phosphate bone substitute for the prophylactic augmentation of osteoporotic vertebrae and the management of vertebral compression fractures. *Spine* 24:1521-1526, 1999
2. Berlemann U, Ferguson SJ, Nolte LP, Heini PF: Adjacent vertebral failure after vertebroplasty. A biomechanical investigation. *J Bone Joint Surg Br* 84(5): 748-752, 2002
3. Bostrom MP, Lane JM: Future directions. Augmentation of osteoporotic vertebral bodies. *Spine* 22(24 Suppl): S38-S42, 1997
4. Grados F, Depriester C, Cayrolle G, Hardy N, Deramond H, Fardellone P: Long-term observations of vertebral osteoporotic fractures treated by percutaneous vertebroplasty. *Rheumatology (Oxford)* 39:1410-1414, 2000
5. Heini PF, Berlemann U: Bone substitutes in vertebroplasty. *Eur Spine J* 10(2 Suppl):S205-S213, 2001
6. Heini PF, Waltchi B, Berlemann U: Percutaneous transpedicular vertebroplasty with PMMA: Operative techni-

- que and early results. A prospective study for the treatment of osteoporotic compression fractures. **Eur Spine J** 9(5):445-450, 2000
7. Huskisson EC: Measurement of pain. **Lancet** 9:1127-1131, 1974
8. Ikeuchi M, Yamamoto H, Shibata T, Otani M: Mechanical augmentation of the vertebral body by calcium phosphate injection. **J Orthop Sci** 6(1):39-45, 2001
9. Kaufmann TJ, Jensen ME, Schweickert PA, Marx WF, Kallmes DF: Age of fracture and clinical outcomes of percutaneous vertebroplasty. **AJNR Am J Neuroradiol** 22:1860-1863, 2001
10. Lavelle ED, Khaleel MA: Vertebroplasty and kyphoplasty: **Med Clin N Am** 91:299-314, 2007
11. Libicher M, Hillmeier J, Lieqibel U, Sommer U, Pyerin W, Vetter M, et al: Osseous integration of calcium phosphate in osteoporotic vertebral fractures after kyphoplasty: Initial results from a clinical and experimental pilot study. **Osteoporos Int** 17(8):1208-1215, 2006
12. Lim TH, Brebach GT, Renner SM, Kim WJ, Kim JG, Lee RE, et al: Biomechanical evaluation of an injectable calcium phosphate cement for vertebroplasty. **Spine** 27:1297-1302, 2002
13. Manson NA, Phillips FM: Minimally invasive techniques for treatment of osteoporotic vertebral fractures. **Instr Course Lect** 56:273-285, 2007
14. Nakano M, Hirano N, Ishihara H, Kawaguchi Y, Watanabe H, Matsuura K: Calcium phosphate cement-based vertebroplasty compared with conservative treatment for osteoporotic compression fractures: A matched case-control study. **J Neurosurg Spine** 4:110-117, 2006
15. Prolo DJ, Oklund SA, Butcher M: Toward uniformity in evaluating results of lumbar spine operations: A paradigm applied to posterior lumbar interbody fusion. **Spine** 11:601-606, 1986
16. Serra L, Kermani M, Panagiotopoulos K, Rosa VD, Vizioli L: Vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral fractures: Results and functional outcome in a series of 175 consecutive patients. **Minim Invasive Neurosurg** 50(1):12-17, 2007
17. Truumees E, Hilibrand A, Vaccaro AR: Percutaneous vertebral augmentation. **Spine J** 4(2):218-229, 2004
18. Wilke HJ, Mehnert U, Claes LE, Bierschneider MM, Jaksche H, Boszczyk BM: Biomechanical evaluation of vertebroplasty and kyphoplasty with polymethyl methacrylate or calcium phosphate cement under cyclic loading. **Spine** 31:2934-2941, 2006
19. Zoarski GH, Snow P, Olan WJ, Stallmeyer MJ, Dick BW, Hebel JR, et al: Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fractures: Quantitative prospective evaluation of long-term outcomes. **J Vasc Interv Radiol** 13:139-148, 2002